Le mini-simulateur de pluie

Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures

A. CASENAVE
Chargé de recherches à l'ORSTOM
Centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire)

RÉSUMÉ

Dans cet article, l'auteur après un bref rappel des principes du mini-simulateur de pluie récemment mis au point en Côte d'Ivoire, définit le mode d'emploi de cet appareil, ainsi que la méthode utilisée pour l'interprétation des données obtenues sous pluies simulées.

ABSTRACT : *The small rain-simulator : conditions of use and guidelines for data analysis*

After a short recall of the principles of the small rain-simulator, recently built in Ivory Coast, the author defines guidelines for using this device and method of data analysis.

SOMMAIRE

DÉFINITION DES PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISÉS

Certaines des variables mesurées sous pluies simulées ayant été représentées par des abréviations différentes de celles employées par Lafforgue nous donnons ci-après les définitions des principaux symboles utilisés dans notre texte.

Dr mm : détention superficielle récupérable = fraction du ruissellement mesurée après l'arrêt de la pluie.
Fn mm/h : intensité minimale d'infiltration = I — Rx
I mm/h : intensité de la pluie
Il mm/h : intensité limite de ruissellement = abscisse à l'origine des droites Rx [I]
IK : indice de l'état d'humectation des sols
Kru % : coefficient de ruissellement utile = $\frac{Lr + Dr}{Pu} \times 100$
Kre % : coefficient de ruissellement efficace = $\frac{Lr + Dr}{Pe} \times 100$
Li mm : lame infiltrée = Pu — (Lr + Dr)
Lr mm : lame ruisselée avant l'arrêt de la pluie
Pe mm : pluie efficace = hauteur de la pluie ayant effectivement ruisselé
Pi mm : pluie d'inhibition = Pu — Pe
Pu mm : pluie utile = hauteur totale de l'averse
Rx mm/h : intensité maximale de ruissellement
SLi mm : lame infiltrée cumulée = Σ Li
SLr mm : lame ruisselée cumulée = Σ Lr
Sp mm : lame utile cumulée = Σ Pu
ta h mn : temps de ressuyage = temps séparant la fin d'une averse du début de l'averse suivante

I. INTRODUCTION

En 1977, pour répondre à une demande du Comité interafricain d'Etudes Hydrauliques, le laboratoire d'Hydrologie d'Adiopodoumé entreprenait une étude du ruissellement en zone forestière. Un des buts principaux de cette étude était la détermination des caractéristiques hydrodynamiques des différents sols forestiers. Pour ce faire, nous avons utilisé le mini-simulateur de pluie, dont un premier prototype venait d'être construit au laboratoire de pédologie expérimentale d'Adiopodoumé. La construction et la mise au point de cet appareil a déjà fait l'objet d'un rapport de Asseline et Valentin [2]. Depuis cette époque, de nombreuses améliorations ont été apportées au prototype initial tant par N. Guiguen que par J. Asseline. Les plans de l'appareil, dans sa version actuelle, ont été publiés dans un nouveau rapport de Asseline [1]. A l'heure actuelle il existe deux mini-simulateurs en Côte d'Ivoire, un en Haute Volta, un au Cameroun et deux autres sont en cours de construction au Togo et au Congo. La multiplication des utilisateurs potentiels de cette nouvelle technique nous a incité à écrire ce mode d'emploi, afin de les faire bénéficier de l'expérience acquise en Côte d'Ivoire au cours de ces cinq dernières années.

II. RAPPEL DU PRINCIPE DE L'APPAREIL

Le mini-simulateur est constitué d'un système d'arrosage fixé au sommet d'une tour en forme de tronc de pyramide, de 3,5 mètres de haut (fig. 1). Cette tour permet la fixation d'une bâche destinée à isoler la parcelle de l'action du vent. Le système d'arrosage est constitué d'un gicleur calibré, monté sur un bras mobile et alimenté en eau à débit constant par une motopompe. Un mouvement de balancement est imprimé au gicleur par un moteur. Un système de bras de levier réglable permet en faisant varier l'angle de balancement de modifier la surface arrosée au sol et par là l'intensité sur la parcelle de un mètre carré étudiée, dans une gamme comprise entre 30 et 150 mm/h. L'ensemble du mécanisme de balancement est monté sur un axe permettant de centrer le gicleur sur l'axe de la parcelle. Un manomètre, installé au sommet de la tour, permet de contrôler la pression d'admission de l'eau au gicleur et donc la constance du débit.

La parcelle étudiée (1 m^2) est limitée par un cadre métallique enfoncé dans le sol d'environ 5 cm. La face aval du cadre est perçée de trous au ras du sol et est munie d'un canal collecteur qui recueille le ruissellement. Ce canal débouche dans une cuve calibrée de façon à donner une élévation de 1 cm d'eau dans la cuve pour une lame ruisselée de 1 mm. Cette cuve est surmontée d'un limnigraphe OTT (type 20.000) ou SEBA (type ALPHA. U modifié). Ces limnigraphes à grande vitesse d'avancement permettent d'enregistrer les volumes ruisselés avec une excellente précision, puisqu'il est possible d'apprécier les temps à 10 secondes près et les lames ruisselées à 0,1 mm près.

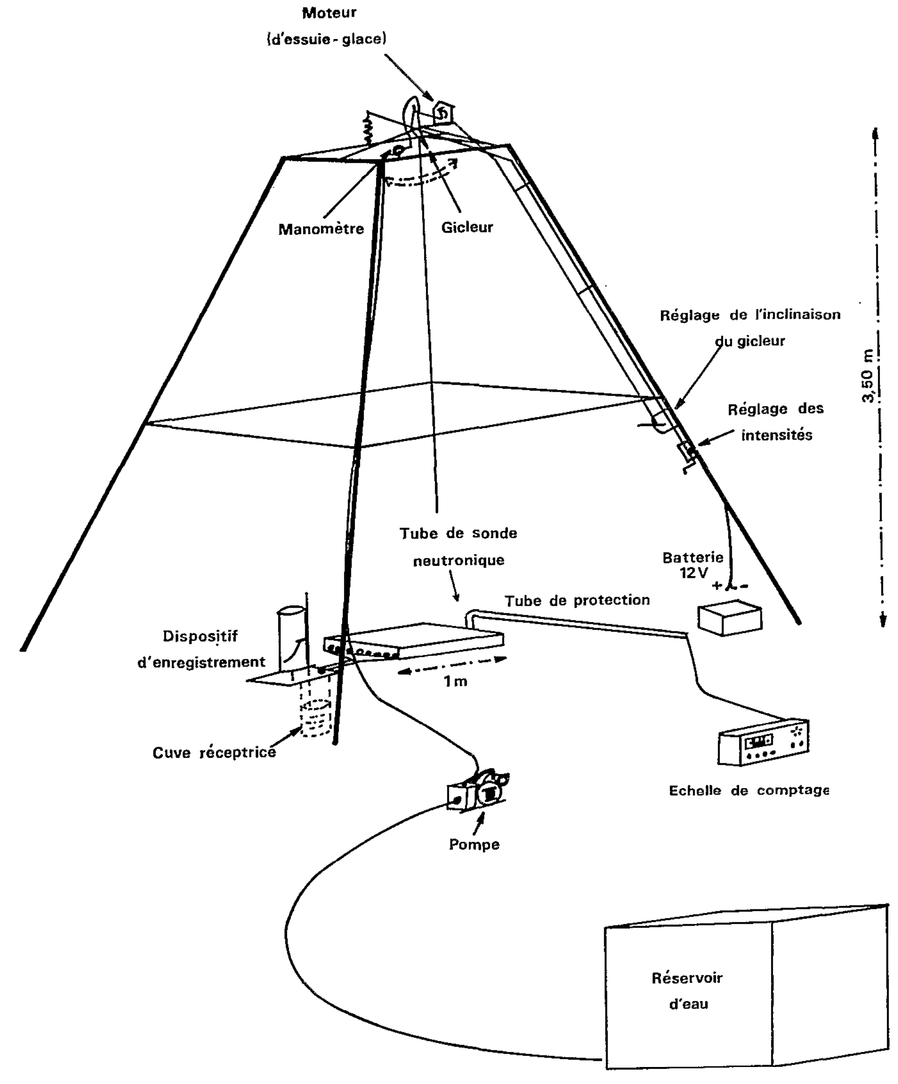


Fig. 1. — Schéma du mini-simulateur

Un tube pour mesures neutroniques de l'humidité du sol est généralement implanté à environ 10 cm à l'amont de la parcelle. Un tube de protection coudé permet de faire des mesures, non seulement avant et après, mais également au cours de la pluie. Ces mesures neutroniques sont doublées de mesures gravimétriques (prélèvements de la tarière). A plusieurs reprises un dispositif de mesure de l'humidité par chocs thermiques a été également utilisé, soit pour pallier les déficiences de la méthode neutronique dans les sols gravillonnaires où l'implantation d'un tube est très difficile, soit comme relais des mesures de sonde à neutrons dans les vingt premiers centimètres du sol.

Bien que dans le cadre des études de ruissellement le problème de l'énergie cinétique des gouttes de pluie soit moins crucial que pour les études d'érosion, il importe cependant de ne pas le négliger, particulièrement en zone de savane où cette énergie a pour conséquence la formation de pellicules de battance dont l'influence sur le ruissellement est considérable. Il importe donc que le gicleur choisi permette la constitution de gouttes de pluie dont l'énergie cinétique soit voisine de celle des pluies naturelles. C. Valentin dans un article déjà cité [2] a fait l'étude détaillée de ce problème, et a montré que l'énergie cinétique des pluies du mini-simulateur est tout à fait semblable à celle des pluies naturelles (fig. 2).

III. QUELQUES CONSEILS PRATIQUES D'UTILISATION

3.1. Mise en place de la parcelle

La mise en place du cadre de un mètre carré ne pose en principe aucun problème, il est bon cependant de prendre quelques précautions. On doit déterminer de façon assez précise la pente du sol, ce qui pour les faibles pentes n'est pas toujours évident, afin de placer le côté troué du cadre rigoureusement en aval. En général l'emploi d'un niveau à bulle de maçon est suffisant. Il est bien évident que l'on évite de piétiner la surface à étudier et la surface de garde lors de la mise en place du cadre. De même il n'est pas inutile, particulièrement en zone de savane, de se prémunir contre le piétinement des parcelles par les animaux, en les entourant de barbelés.

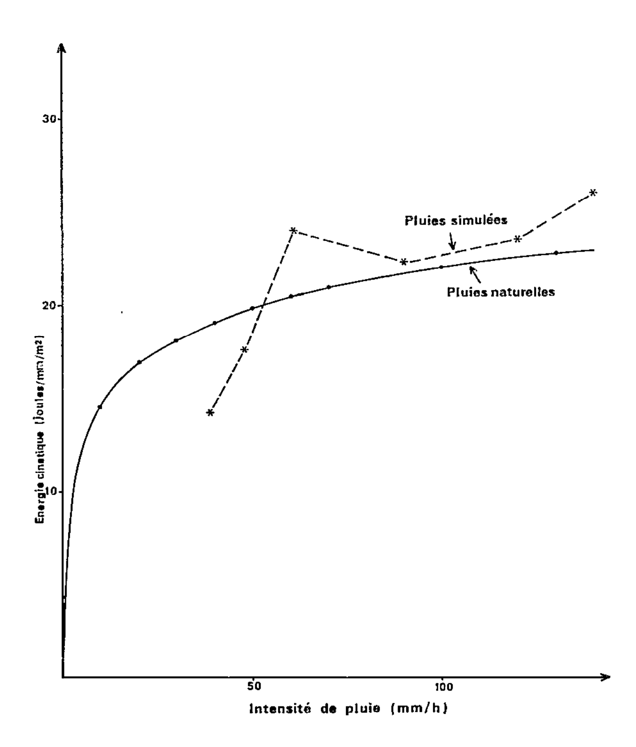


Fig. 2. — Comparaison des énergies cinétiques
des pluies naturelles (Abidjan) et simulées

La parcelle est enfoncée à la masse, à l'aide d'un cadre renforcé, de manière à mettre la cornière d'arrêt et la ligne de trous au niveau de la surface du sol. Une petite rigole doit être aménagée sous la gouttière réceptrice du ruissellement. En zone forestière, où l'enfoncement du cadre peut être assez difficile du fait des petites racines ou des horizons gravillonnaires, il est recommandé de faire monter 2 manœuvres sur le cadre renforcé, ce qui évite les vibrations de la tôle au moment où l'on frappe le cadre avec la masse. Ces vibrations ayant pour conséquence d'élargir le passage de la tôle dans le sol, peuvent créer des zones d'infiltration privilégiées le long des bordures. En zone de savane, où il importe de ne pas détruire les organisations pelliculaires de surface lors de la mise en place du cadre, on pratique une incision dans le sol, aux dimensions du cadre, de quelques centimètres de profondeur. Une fois le cadre installé, on verse du goudron fondu le long des bordures afin d'assurer l'étanchéité.

Les cadres une fois installés ne doivent pas être bougés, aussi est-il nécessaire de construire autant de cadres que de parcelles à étudier lors d'une campagne (12 à 15), ce qui ne doit pas poser de problèmes étant donné le faible coût d'un cadre.

3.2. Mise en place de la cuve

La cuve recueillant le ruissellement est installée dans une petite fosse de 50 cm de profondeur sur 40 cm de diamètre, les pieds de l'appareil reposant sur un replat aménagé à 12 cm de profondeur. A l'origine cette fosse était creusée à l'aval immédiat de la parcelle. Sur certains sols où les premiers horizons étaient très poreux, nous avons connu des problèmes du fait de cette disposition, l'eau infiltrée dans la parcelle passant très rapidement dans cette fosse. L'état d'humectation des horizons superficiels était, du fait de ce soutirage, bien inférieur à ce qu'il aurait été dans des conditions naturelles. Pour éliminer cet inconvénient, la goulotte joignant le cadre à la cuve a été allongée, la cuve étant désormais installée à 1 m en aval de la parcelle. Afin d'éviter les blocages ou les frottements intempestifs lors de l'enregistrement, il est important de s'assurer de l'horizontalité du limnigraphe. Les limnigraphes utilisés, n'étant pas pourvus de dispositifs de retournement, ne permettent que l'enregistrement d'une lame ruisselée limitée (35 mm pour le OTT et 25 mm pour le SEBA) ce qui oblige pour les sols à fort coefficient de ruissellement à vidanger la cuve au cours de la pluie. Pour ce faire la cuve est équipée d'une vanne rapide et est reliée à une motopompe qui assure la vidange en environ 30 secondes. Pour reconstituer la lame ruisselée correspondant à cette période de vidange, on prolonge sur l'enregistrement la courbe des volumes ruisselés cumulés, d'une longueur équivalente au temps de la vidange, et avec une pente intermédiaire entre celles enregistrées avant et après la vidange (pour éviter cette ambiguïté, il est recommandé d'effectuer la vidange, dans la mesure du possible, au cours d'un palier de ruissellement où la pente est constante).

3.3. Mise en place de la tour

Lors de la mise en place de la tour, il faut veiller au centrage du gicleur sur la parcelle afin d'avoir un anneau de garde suffisant quelle que soit l'intensité de la pluie. Pour cela, le moyen le plus pratique consiste à attacher deux ficelles en diagonale entre les pieds de l'appareil et à déplacer celui-ci jusqu'à ce que ces ficelles soient superposées aux diagonales du cadre limitant la parcelle. Pour compenser la pente du terrain, les pieds de l'appareil sont réglables en hauteur, afin que le sommet de la tour soit horizontal. Chaque pied étant numéroté, lors de la première installation de la tour on note sur un croquis la position des pieds par rapport à la parcelle ainsi que le nombre de trous sortis sur la partie inférieure de chaque pied pour obtenir l'horizontalité. De même une fois l'appareil mis de niveau et centré, on matérialise l'emplacement des pieds par des petits piquets. Ces précautions permettent d'éviter les tâtonnements et de refaire les réglages très rapidement après chaque déplacement de l'appareil.

Afin de neutraliser les effets du vent, des bâches sont fréquemment fixées sur la tour, qui doit alors être haubanée. Pour éviter que les pieds ne se tordent ou ne cassent, les haubans doivent être fixés non au sommet de la tour mais au milieu de la hauteur des barres transversales. L'appareil ayant une fâcheuse propension à s'envoler du fait de la surface importante offerte au vent par les bâches, nous conseillons de ne pas laisser celles-ci montées sur l'appareil en dehors des périodes de pluie.

3.4. Réglage des intensités

Le bras de levier faisant varier l'angle de balancement est réglé à l'aide d'une tige filetée. Le nombre de tours de cette tige est indiqué par un compteur à chiffre sautant. L'étalonnage de l'appareil est fait en corrélant les

nombres de tours de la tige aux intensités correspondantes. Les mesures d'intensité sont faites avec un bac en tôle de 1 m² posé sur le cadre limitant la parcelle. L'eau qui ruisselle sur ce bac est recueillie dans la cuve. L'intensité de la pluie est donnée, avec une très bonne précision, par la pente de la droite des volumes ruisselés cumulés enregistrée. Bien que l'appareil soit étalonné, il est nécessaire de contrôler, avant chaque pluie, les réglages des intensités car celles-ci peuvent varier légèrement en fonction de la position de l'appareil (centrage du jet, hauteur du gicleur...) ou de la pression d'admission d'eau au gicleur (les manomètres que nous utilisons étant sensibles à la pression atmosphérique, le réglage de la pression de l'eau peut varier d'un jour à l'autre ou en fonction de l'altitude). Pour faire ces réglages, nous traçons sur le diagramme d'enregistrement les droites représentant les intensités cherchées. On règle l'appareil au nombre de tours théorique correspondant à l'intensité que l'on veut obtenir puis on augmente ou on diminue le nombre de tours de façon à ce que la plume suive la droite. On note le nombre de tours correspondant qui sera celui utilisé au cours de la pluie. Avec un peu d'entraînement le réglage de cinq intensités peut se faire en une dizaine de minutes. Les mesures de l'humidité du sol se faisant à l'intérieur de l'anneau de garde, celui-ci est couvert pendant les réglages d'intensité par des bâches.

IV. DÉTERMINATION DES EMPLACEMENTS DE MESURE

Le choix des emplacements de mesure est fonction de plusieurs critères. Le premier et le plus important de ces critères est bien évidemment pédologique : nature du sol ou état de surface. Les sites sont implantés à partir de la carte pédologique, quand elle existe, ou après une reconnaissance du bassin étudié par un pédologue. Par exemple en zone forestière ivoirienne, trois sites étaient généralement installés le long d'un versant ; un site au sommet, le second vers la mi-pente, le dernier en bas de versant. Ce dispositif correspond à la toposéquence la plus couramment observée dans cette région avec des sols ferrallitiques rouges à horizon gravillonnaire en surface ou à faible profondeur sur les positions hautes du modelé, qui passent à des sols ferrallitiques rouges puis jaunes à horizon gravillonnaire profond surmonté de colluvions, généralement à partir du tiers supérieur du versant, puis à des sols hydromorphes en bas de pente.

Le second critère est l'accessibilité du site. Le transport de l'eau nécessaire aux pluies simulées suppose l'existence à proximité immédiate du site, d'une piste carrossable. Si cette condition est généralement facile à remplir en zone de savane, où même en l'absence de piste un véhicule tout terrain peut permettre d'amener l'eau, il n'en est pas toujours de même en zone forestière où les pistes sont rares et assez souvent de qualité très médiocre et où il est difficile de circuler en dehors des pistes.

De même l'utilisation du mini-simulateur nécessite la proximité d'un point d'eau. Bien que le volume d'eau consommé par le mini-simulateur n'ait aucune commune mesure avec celui du grand simulateur, il n'est toutefois pas toujours facile, particulièrement en zone sahélienne, de trouver en saison sèche les 1 200 à 1 500 litres nécessaires à deux pluies journalières. Si l'on peut toujours aller chercher au loin cette eau, l'idéal étant d'avoir un véhicule avec un chauffeur chargé de cette « corvée », il est bien évident qu'entre des sites présentant les mêmes caractéristiques pédologiques et également accessibles, on choisit le plus proche du point de ravitaillement en eau.

Enfin, le dernier critère du choix, pente du sol modérée, est imposé par une des limites du mini-simulateur, qui ne peut, malgré ses pieds réglables en hauteur, que difficilement travailler sur des pentes supérieures à 30%. Bien que nous ayons utilisé le mini-simulateur sur des pentes de l'ordre de 40% pour tester le bassin d'Ottotomo (Cameroun), en rajoutant des rallonges aux pieds, il s'agit là de conditions extrêmes qui compliquent énormément le travail.

V. FORME DE LA PLUIE

Lors d'une pluie simulée, on enregistre la courbe des volumes ruisselés cumulés. Les variations de pente de cette courbe permettent le calcul des débits de ruissellement instantanés qui peuvent être reportés en fonction du temps pour dessiner l'hydrogramme de ruissellement. En pratique les hydrogrammes sont représentés de la manière suivante : en abscisse sont portés les temps en minutes, avec pour origine l'heure de début de la pluie, et en ordonnée les intensités de la pluie I, du ruissellement R et de l'infiltration F, exprimés en mm/h. Pour une pluie à intensité constante, on obtient un hydrogramme dont l'aspect est voisin de celui de l'hydrogramme théorique reproduit sur la figure 3. Nous ne reviendrons pas sur l'analyse des quatre phases constituant cet hydrogramme (phase d'imbibi-

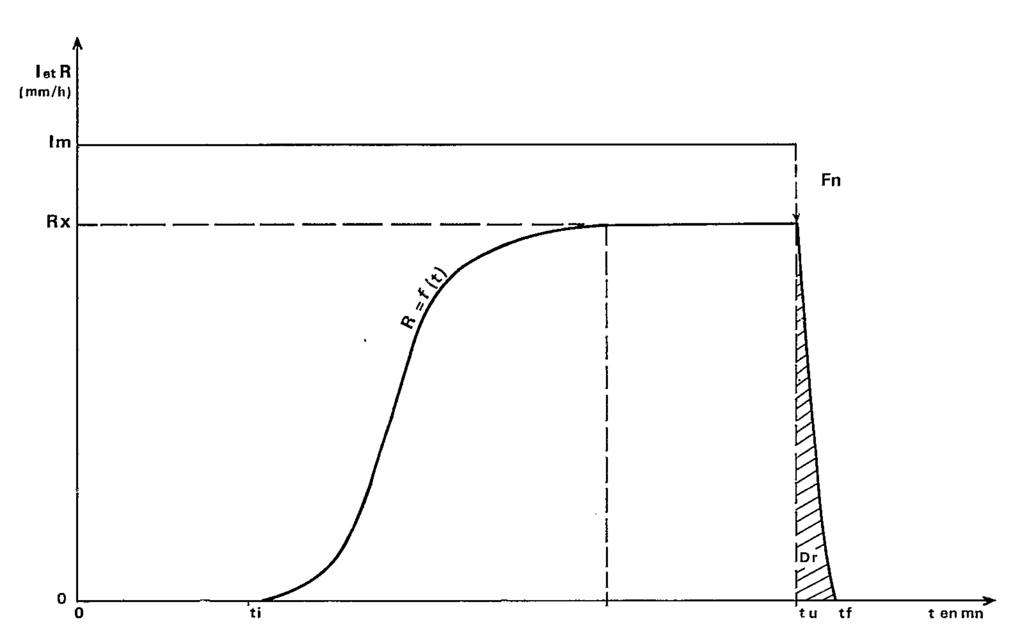


Fig. 3. — Hydrogramme théorique de ruissellement sous averse d'intensité constante

tion, phase transitoire, palier de ruissellement et phase de vidange) qui a été faite par Lafforgue [12]. Notons que si une pluie à intensité constante permet de déterminer la courbe de variation de la lame ruisselée en fonction du temps et donc de la pluie utile (toutes les pluies simulées ayant des intensités supérieures à 35 mm/h et étant donc susceptibles de ruisseler, l'emploi du terme « pluie utile » se justifie), il est nécessaire de simuler plusieurs pluies sur une même parcelle pour obtenir la relation entre l'intensité maximale de ruissellement Rx ou l'intensité minimale d'infiltration Fn, et l'intensité de la pluie I. Contrairement au grand simulateur qui ne permet que des averses à intensité constante, il est possible avec le mini simulateur, de changer quasi-instantanément d'intensité sans interruption de l'averse. Cette faculté permet de réduire de façon importante le nombre de pluies nécessaire au test d'un sol, puisqu'une seule averse comportant plusieurs intensités suffit à déterminer les relations Lr (Pu) et Rx (I) ou Fn (I). Nous présentons, à titre d'exemple de ce type de pluie simulée, celle du 31.01.1979 sur la parcelle 10 du bassin de Taï. La forme de cette pluie était la suivante : 140 mm/h pendant 15 minutes, 100 mm/h pendant 15 minutes puis des intensités de 80, 60 et 40 mm/h chacune pendant 10 minutes, les changements d'intensité étant fait sans arrêt de la pluie. Nous avons reproduit sur la figure 4 le hyétogramme de cette averse, l'hydrogramme résultant ainsi que les relations Lr (Pu), Rx et Fn en fonction de I que l'on peut tirer de ce type de pluie. A l'aide d'une seule averse on détermine les relations :

$$Lr = 0{,}88\ Pu - 3{,}17$$

$$Rx = 0{,}90\ I - 3{,}61$$

et comme $Fn = I - Rx$

$$Fn = 0{,}10\ I + 3{,}61$$

L'abscisse à l'origine de la droite Rx (I), I1 = 4,0 mm/h représente une intensité limite au-dessous de laquelle il est impossible d'obtenir un ruissellement. Cette intensité limite est à rapprocher de celle utilisée pour définir la pluie utile dans les études de bassin représentatif.

Ces équations et cette intensité limite ne sont, bien sûr, valables que pour un état d'humectation du sol et de la végétation donné. On voit cependant qu'il suffit, en partant d'un sol sec, de saturer progressivement le sol en simulant plusieurs averses sur la même parcelle pour étudier l'évolution des droites Lr (Pu), Rx (I) et de Il, en fonction de l'état d'humectation du sol. De même en faisant cette série de pluies, les mêmes jours, sur deux parcelles situées à proximité l'une de l'autre, l'une dénudée, l'autre sous couverture végétale, il est possible de déterminer l'influence de la végétation sur ces différentes relations. Il faut cependant prévoir dans le protocole une dernière série de pluies sur les deux parcelles dénudées afin de chiffrer l'influence de l'hétérogénéité du sol. Les pluies à intensité variable permettent donc de tester de façon relativement complète un sol avec un nombre de pluies limité. Pour ce qui est de la forme et du nombre des pluies nous avons essayé de respecter dans les protocoles les principes suivants :

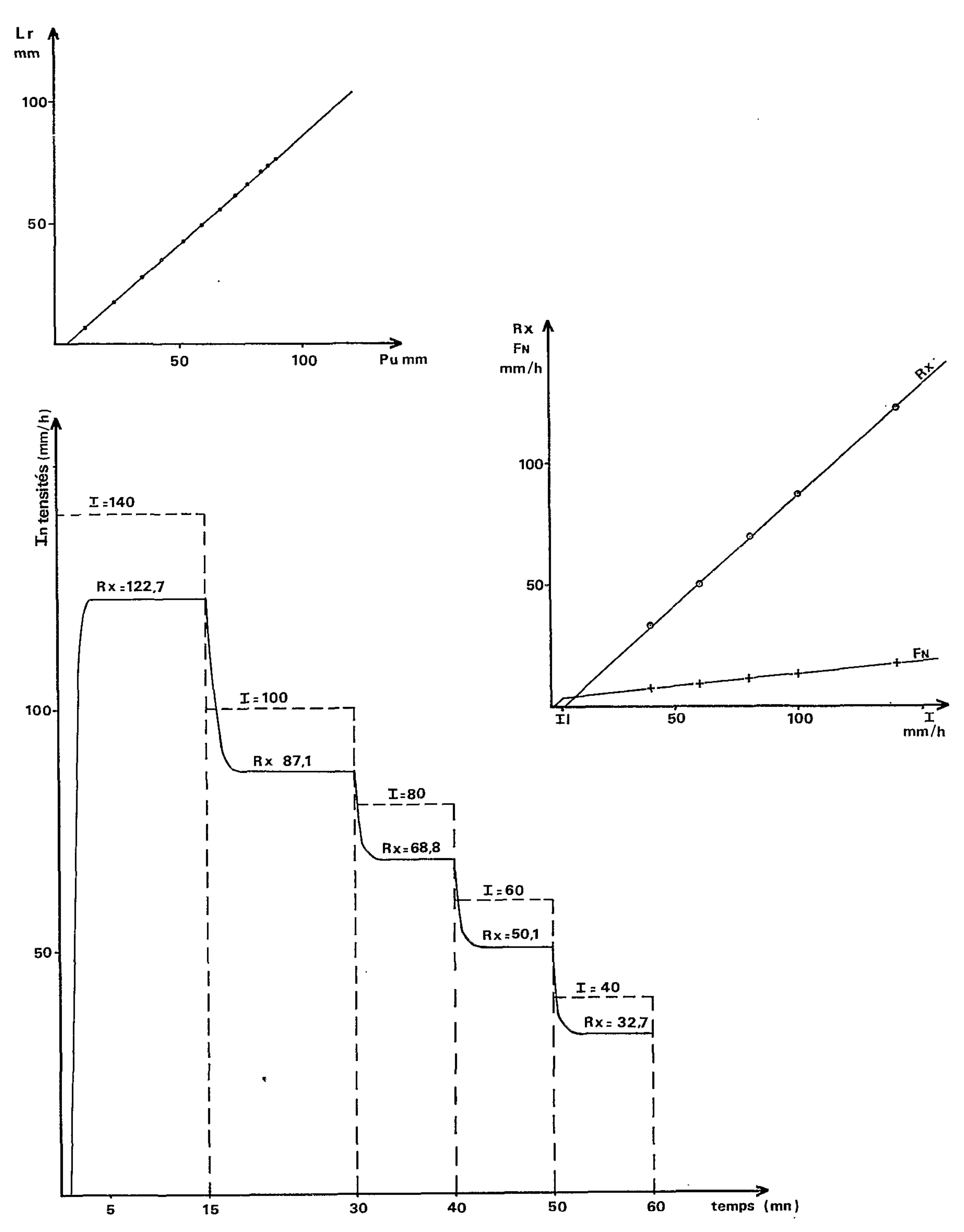


Fig. 4. — Exemple de pluie à intensité variable (Taï : site III, parcelle 10, pluie du 31-01-79)

— averse à pointe d'intensité unique,

— la taille de la pluie ne doit pas dépasser soit la hauteur de la pluie journalière de fréquence annuelle soit la hauteur de fréquence décennale,

— le total des pluies sur une parcelle ne doit pas excéder la valeur moyenne de la pluviométrie annuelle,

— les composantes intensité-durée-fréquence doivent respecter celles communément admises pour la région.

VI. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET PROTOCOLE DE MESURE

On considère généralement que les principaux facteurs influençant le ruissellement, outre l'intensité et la durée de l'averse, sont : la nature du sol, l'état d'humectation initial du sol, la pente et la couverture végétale. La première campagne de mesure du ruissellement sous pluie simulée, effectuée en 1977, sur le bassin du Manso (Côte d'Ivoire), a permis de montrer que sur des parcelles de 1 mètre de long, la pente n'avait pas d'influence sensible sur le ruissellement mais que, par contre, il était nécessaire de prendre en compte le facteur hétérogénéité du sol, des parcelles situées à proximité immédiate les unes des autres, sur un même type de sol, ayant donné des ruissellements très différents, tous les autres facteurs étant égaux par ailleurs. Le dispositif expérimental et le protocole des mesures doivent permettre de caractériser, avec le minimum de pluies, le rôle de chacun de ces facteurs susceptibles d'influencer le ruissellement.

Il n'est pas possible de définir un protocole standard, celui-ci devant être adapté en fonction des différents problèmes étudiés. Nous nous contenterons de donner deux exemples de protocole, mis au point par les équipes utilisant le mini simulateur, la première en Côte d'Ivoire dans le cadre de l'étude des crues décennales des petits bassins en zone forestière (Casenave, Guiguen, Simon), la seconde en Haute-Volta pour l'étude des bassins de la mare d'Oursi (Chevallier).

6.1. Etude des crues décennales en zone forestière

Les études précédentes en zone forestière ont montré les limites de la classification pédologique usuelle qui ne permet pas de prévoir le comportement des différents types de sols forestiers lors d'un épisode pluvieux et mis en évidence l'impossibilité de classer un bassin dans une catégorie d'aptitude au ruissellement, en chiffrant sa perméabilité globale à partir de critères pédologiques classiques. Des campagnes de mesures sous pluies simulées ont donc été entreprises afin de mieux définir les caractéristiques hydrodynamiques des différents sols forestiers. Le dispositif expérimental et le protocole des mesures devaient permettre de chiffrer l'influence des principaux facteurs, énumérés au début de ce paragraphe, intervenant dans les processus de ruissellement.

6.1.1. *Dispositif expérimental*

Une reconnaissance pédologique du bassin étudié permet de déterminer les grands types de sols représentés sur ce bassin. Des mesures sont effectuées sur un site représentatif de chacun de ces différents sols. Chaque site est généralement équipé de quatre parcelles. Sur trois de ces parcelles la végétation naturelle est conservée pendant une partie des pluies (le terme végétation ne recouvre, bien évidemment, que la strate herbacée à l'exclusion des arbres). La quatrième parcelle est étudiée sur sol « nu ». Par sol « nu », nous entendons un sol où la basse végétation a été coupée au ciseau au ras du sol et où les feuilles mortes non décomposées ont été enlevées, sans toucher à la litière, afin de ne pas bouleverser la structure superficielle du sol.

6.1.2. *Protocole des mesures*

Le premier protocole adopté dans le cadre de cette étude peut être schématisé de la manière suivante, pour un site comportant 4 parcelles :

TABLEAU 1

Jours	*Parcelle 1 sol nu*	*Parcelle 2 végétation*	*Temps ressuyage*	*IK*	*Parcelle 3 végétation*	*Parcelle 4 végétation*	*Temps ressuyage*	*IK*
J	Pluie de type A	A	∞*	0				
J + 1	» A	A	24 h	54,6				
J + 2	» A	A	24 h	87,7				
J + 3					A	A	∞	0
J + 4	» A	A	48 h	65,4				
J + 5	» A	A	24 h	94,2				
	» B	B	30 mn	182,3				
J + 6					B	B	72 h	20,1
					B	B	30 mn	66,9
					B	B	30 mn	113,2
J + 15	» B	B	240 h	1,6				
	» B	B	30 mn	47,1				

* La notation ∞ pour le temps de ressuyage veut dire que le temps séparant la pluie considérée de la pluie précédente est suffisamment long pour que l'indice IK s'annulle.

IK est un indice pluviométrique dont le mode de calcul sera explicité ultérieurement.

Afin de partir d'un sol initialement très sec, les mesures sont effectuées au cours de la saison sèche. En zone forestière des pluies naturelles peuvent cependant avoir lieu pendant la période des mesures. Pour éviter leur influence, les parcelles sont couvertes avec des bâches en plastique. A défaut de couverture, la hauteur de la pluie naturelle est prise en compte dans le calcul de IK et les temps d'arrêt entre les pluies simulées sont adaptés de façon à obtenir des valeurs de IK proches de celles du protocole théorique.

Lors des deux premières campagnes la pluie de type A présentait la succession des intensités suivantes :

140 mm/h pendant 15 minutes
100 mm/h pendant 15 minutes
80 mm/h pendant 10 minutes
60 mm/h pendant 10 minutes
40 mm/h pendant 10 minutes

Soit une pluie de 90 mm en 1 heure.

Afin de mieux respecter la forme des pluies naturelles, pour les campagnes suivantes une partie préliminaire a été ajoutée à cette pluie A qui débute par 10 minutes à 40 mm/h les autres intensités étant inchangées, ce qui représente une pluie de 96,7 mm en 1 h 10 mn.

La pluie de type B est une succession d'une intensité de 140 mm/h pendant 15 minutes, puis 50 mm/h pendant 15 minutes, soit une pluie de 30 minutes d'une hauteur de 47,5 mm.

La végétation des parcelles 2, 3 et 4 est coupée avant les pluies de type B qui ont donc toutes lieu sur sol « nu ». L'arrêt de 48 heures entre les pluies de type A sur les parcelles 1 et 2 n'est pas impérativement observé au jour J + 3, mais dépend des résultats des pluies précédentes. Cet arrêt peut être effectué avant, si on estime que l'on a déjà obtenu un coefficient de ruissellement qui semble le maximum que l'on puisse atteindre (cas par exemple des sites II et III de Taï où dès la deuxième pluie A le coefficient de ruissellement est de 90%).

Comme nous l'avons déjà dit, une pluie à intensité variable permet de caractériser l'influence de la hauteur de pluie sur la lame ruisselée et de l'intensité de la pluie sur l'intensité du ruissellement, ceci pour un état d'humectation du sol donné. La série des pluies A des jours J à J + 5, des parcelles 1 et 2, permet d'étudier le rôle de l'état d'humectation préalable du sol sur le ruissellement, sur sol nu et sous végétation. Les pluies de type B, qui ont toutes lieu sur parcelles dénudées, permettent de chiffrer l'influence de l'hétérogénéité du sol. L'action de la végétation est déduite de la comparaison des résultats des pluies A, des parcelles 1 et 2, des jours J à J + 5, avec un contrôle pour les parcelles 3 et 4 pour la pluie du jour J + 3. Enfin la comparaison des résultats obtenus sur les différents sites permet de caractériser l'influence de la nature du sol.

Après trois campagnes exécutées avec ce protocole, une synthèse des résultats obtenus nous a amené à modifier, en le simplifiant, le protocole. Les mesures du ruissellement sous végétation n'ayant pas donné les résultats escomptés, elles ont été éliminées; les mesures d'un site sont faites désormais sur 4 parcelles dénudées. Les valeurs de IK

utilisées lors de cette synthèse nous ont incité à réduire le nombre d'averses sur chaque parcelle ; 4 pluies de type A permettant d'obtenir des valeurs de IK comprises entre 0 et 100 sont largement suffisantes. Ce nouveau protocole, qui est désormais utilisé, peut être schématisé de la manière suivante :

TABLEAU 2

	Parcelles							
Jours	*1 sol nu*	*2 sol nu*	*Temps ressuyage*	*IK*	*3 sol nu*	*4 sol nu*	*Temps ressuyage*	*IK*
J	A	A	∞	0				
J + 1	A	A	24 h	58,7				
J + 2	A	A	24 h	90,2				
J + 3					A	A	∞	0
J + 4	A	A	48 h	66,3				
J + 5					A	A	24 h	33,1
J + 6					A	A	24 h	74,7
J + 7					A	A	24 h	99,9

6.2. Etude de la Mare d'Oursi

Dans le cadre de l'étude de la Mare d'Oursi, une campagne de simulation de pluie a été effectuée sur deux des bassins étudiés, Polaka et Jalafanka, afin de mieux y cerner les processus de genèse des crues dont les caractéristiques étaient parfois difficiles à expliquer au vu des seuls résultats de l'étude classique. On se proposait, d'autre part, d'essayer de reconstituer l'ensemble des crues observées, à partir des caractéristiques hydrodynamiques des sols déterminées avec le simulateur de pluie. Contrairement à l'étude précédente, il s'agissait de reconstituer non plus la seule crue décennale mais l'ensemble des crues et donc de déterminer les réactions des sols non seulement à une averse de taille importante, mais pour toute la gamme des hauteurs de pluie possible. De plus alors qu'en zone forestière le ruissellement est conditionné par la nature du sol, en zone sahélienne, comme l'ont montré les travaux des pédologues Collinet, Valentin [7, 9, 17], il ne dépend que de l'état de surface du sol (pellicule de battance). Le protocole a été adapté en fonction de ces impératifs.

6.2.1. *Dispositif expérimental*

La cartographie des bassins faite par Valentin [16] a mis en évidence les différentes unités, 11 pour Polaka, 1 pour Jalafanka, définies non par la nature des sols mais par des facteurs susceptibles d'influencer le ruissellement. Chaque unité est constituée d'associations de plusieurs types de surface (végétation, recouvrement sableux ou gravillonnaire, pellicule indurée...), des regroupements entre les différentes unités pouvant raisonnablement être réalisés ; trois sites ont été implantés sur le bassin de Polaka et un seul sur le bassin de Jalafanka nettement plus petit et très homogène. Chacun des sites comportait trois parcelles représentatives d'états de surface différents dont la description schématique est donnée ci-après :

Bassin de Polaka :

— Site I

Parcelle Ax : végétation (graminées) sur épandage sableux.
Parcelle Ay : sol nu avec produits grossiers de démantèlement de cuirasse.
Parcelle Az : sol nu avec pellicule indurée.

— Site II

Parcelle Bx : végétation et recouvrement sableux.
Parcelle By — Bz : épandage gravillonnaire.

— Site III

Parcelle Cx : végétation et épandage sableux.
Parcelle Cy : épandage gravillonnaire avec gravillons plus fins que sur le site II.
Parcelle Cz : traitement standard (labour sur 10 cm de profondeur et ratissage de la surface). Ce traitement a pour but de mettre en évidence la vitesse de reconstitution des pellicules de battance.

Bassin de Jalafanka

Parcelle Dx : graminées sur pellicule indurée.
Parcelle Dy : sol nu avec pellicule indurée intacte.
Parcelle Dz : sol nu avec pellicule desquamée.

6.2.2. *Protocole des mesures*

La forme des pluies a été déterminée en tenant compte de la hauteur de pluie journalière de fréquence annuelle (45,7 mm) ou décennale (73,2 mm) ainsi que des relations intensité-durée-fréquence du poste pluviographique de la station météorologique de Jalafanka. Afin de déterminer la hauteur de la pluie d'imbibition sur un sol initialement très sec, la première pluie est une averse à intensité constante (60 mm/h) qui est poursuivie jusqu'à l'apparition du ruissellement, avec une durée minimum de 30 minutes. La succession des pluies, qui est identique sur chacune des parcelles, peut être schématisée de la façon suivante dans le tableau 3.

TABLEAU 3

N° pluie	*Temps ressuyage ta* (h)	*Durée* (mn)	*Intensité* (mm/h)	*Total pluie* (mm)	*IK*
1	infini	30	60	30,0	0
2	14	10	60		
		10	100		22,4
		10	80		
		10	40	46,7	
3	22	10	60		43,7
	1	10	100		52,6
	0,5	10	80		68,6
	0,25	10	40	46,7	81,5
4	53-100	10	60		20,5
		10	100		avec ta = 70
		10	80		
		10	40	46,7	
5	36	30	60		31,7
		10	120		
		10	100		
		10	80		
		15	40	90,0	
6	environ 350	30	60		0
	3	10	120		28,3
	1	10	100		47,3
	0,5	10	80		63,3
	0,25	15	40	90,0	76,2

Les pluies 3 et 6 qui sont « hachées » par des temps d'arrêt très brefs entre les différentes intensités, avaient pour but de multiplier les valeurs de la pluie d'imbibition pour le maximum d'états d'humectation du sol différents. Elles ont par contre l'inconvénient de ne permettre que le tracé de courbes Lr (Pu) très réduites et rendent impos-

sible le tracé des droites Rx (I). L'expérience ayant montré que 6 valeurs de la pluie d'imbibition suffisaient largement pour tracer les courbes de variation de cette pluie, ce type de pluie a été abandonné et remplacé par des averses continues dans le protocole mis au point pour l'étude d'un autre bassin voltaïque : bassin de Binde (Albergel, Casenave).

La combinaison des pluies sur les 3 parcelles d'un site aboutit à un calendrier de mesure de type de celui présenté dans le tableau 4 ci-après :

TABLEAU 4

Jour	*Parcelle*	*N° pluie*
1 matin		
soir	X	1
2 m	X	2
s		
3 m	X	3
s	Y	1
4 m	Y	2
s		
5 m	Y	3
s	Z	1
6 m	Z	2
s		
7 m	Z	3
s	X	4
8 m		
s	Y	4
9 m	X	5
s	Z	4
10 m	Y	5
s		
11 m	Z	5
s		
après env. 15 jours d'arrêt		
1	X	6
2	Y	6
3	Z	6

VII. MESURE DE L'HUMIDITÉ DU SOL

Comme nous l'avons déjà signalé, les mesures de ruissellement sur les parcelles sont couplées à des mesures de l'humidité du sol qui ont été effectuées par trois méthodes différentes : méthode gravimétrique, sonde à neutrons et chocs thermiques. Ces mesures étaient destinées à chiffrer l'état d'humectation du sol avant la pluie et à suivre,

par des mesures neutroniques, les cinétiques d'infiltration au cours de la pluie. Il s'avère, malheureusement, qu'aucune de ces trois méthodes ne donne des résultats satisfaisants dans tous les cas. Si la mesure de l'humidité dans des sols sableux ne pose pas de problèmes, il n'en est pas de même pour les sols à horizon gravillonnaire, qui représentent la majeure partie des sols testés en zone forestière, où la mise en place correcte d'un tube de sonde à neutrons est très difficile, avec en plus l'inconvénient pour la méthode neutronique de ne pas donner de résultats fiables dans les vingt premiers centimètres du sol. L'implantation des sondes de chocs thermiques y est rendu très difficile par les gravillons, la mesure étant très sensible à la distance séparant les deux sondes. De plus cette méthode ne permet qu'une mesure ponctuelle de l'humidité de la terre emballant les gravillons (qui peuvent représenter 60 à 80% du volume de l'horizon) qui n'est pas représentative de l'état d'humectation de l'horizon. Pour ce qui est de la méthode gravimétrique, il s'avère très difficile de prendre à la tarière des échantillons représentatifs dans les horizons superficiels ou gravillonnaires, l'humidité mesurée dépendant beaucoup du taux de gravillons ou de la quantité de matière organique contenue dans l'échantillon. Bien que nous ayons toujours fait au moins trois prélèvements par niveau afin d'augmenter la représentativité des mesures, en considérant la médiane de ces valeurs, nous avons très souvent obtenu des résultats aberrants. Cette quasi-impossibilité de mesurer, dans tous les cas, l'humidité du sol, nous a incité à chiffrer l'état d'humectation par un indice pluviométrique qui tienne compte de la hauteur des pluies et de leur répartition dans le temps. Cet indice a, de plus, l'avantage de pouvoir être calculé à partir d'une série pluviométrique d'un poste de référence proche du bassin étudié, alors qu'on ne dispose que rarement de mesures directes de l'humidité du sol. Pour une averse donnée, l'indice est calculé à partir du total cumulé des précipitations antérieures, corrigé en fonction du temps qui les sépare de l'averse considérée. Nous avons adopté un indice de forme exponentielle répondant à l'équation :

$$IKn = (IK_{n-1} + Pn - 1)\, e^{-\alpha t}$$

où IKn = valeur de l'indice avant la pluie n

IKn — 1 = valeur de l'indice avant la pluie n — 1

Pn — 1 = hauteur de la pluie n — 1

t = temps en fraction de jours séparant la fin de la pluie n — 1 du début de la pluie n

α = coefficient d'ajustement.

Le report des valeurs de la lame ruisselée en fonction de IK, dont nous parlerons ultérieurement, nous a placé devant une alternative :

— soit prendre une valeur de α moyenne, valable pour tous les sols étudiés, ce qui autorise une comparaison directe des courbes représentatives des différents sols mais augmente la dispersion des points autour de ces courbes ;

— soit réduire au maximum la dispersion en faisant varier α d'un sol à l'autre, ce qui permet d'affiner le tracé des courbes mais interdit toute comparaison directe des courbes entre elles. Cette seconde solution offre la possibilité de chiffrer la « perméabilité » du sol. Un coefficient α fort donnant plus de poids aux pluies immédiatement antérieures à l'averse considérée, alors qu'un coefficient α faible augmente l'importance du total cumulé des précipitations, la valeur de α permettant le meilleur ajustement est fonction de la vitesse de ressuyage du sol.

Malgré cette possibilité, qui nécessite cependant des moyens de calcul automatique, la détermination de la valeur optimale de α ne pouvant se faire que par itérations successives, nous avons opté, provisoirement, pour le premier terme de l'alternative en utilisant une valeur de α de 0,5 pour tous les sols étudiés, valeur qui a également été utilisée par Chevallier dans le cadre de l'étude d'Oursi.

Il faut noter qu'une valeur de IK = 90 correspond à une humectation du sol très forte puisqu'elle représente l'humidité du sol 24 heures après deux pluies de 97 mm séparées de 24 heures, ce qui constitue, même en zone équatoriale, un épisode pluvieux déjà exceptionnel. La valeur de l'humectation des sols au milieu de la saison des pluies qui est généralement utilisée pour le calcul de la crue décennale, correspond, en zone forestière, à une valeur de IK de l'ordre de 50, et en zone sahélienne de l'ordre de 10.

VIII. PRINCIPES DE L'INTERPRÉTATION DES MESURES

Nous allons développer, à partir de quelques exemples, extraits pour la plupart de l'étude des crues décennales en zone forestière, la méthode utilisée pour l'interprétation des mesures. Elle concerne les résultats du 1er protocole, plus complet (série des pluies A et B), mais peut être partiellement appliquée aux autres protocoles.

8.1. Données de base

On trouvera, à titre d'exemple, l'enregistrement correspondant à la pluie du 25-01-1979 sur la parcelle 1 de Taï, reproduit sur la figure 5. La pluie simulée est une pluie de type A du 1er protocole (début de l'averse par l'intensité de 140 mm/h). Outre les intensités de ruissellement permettant de tracer l'hydrogramme, on peut extraire de

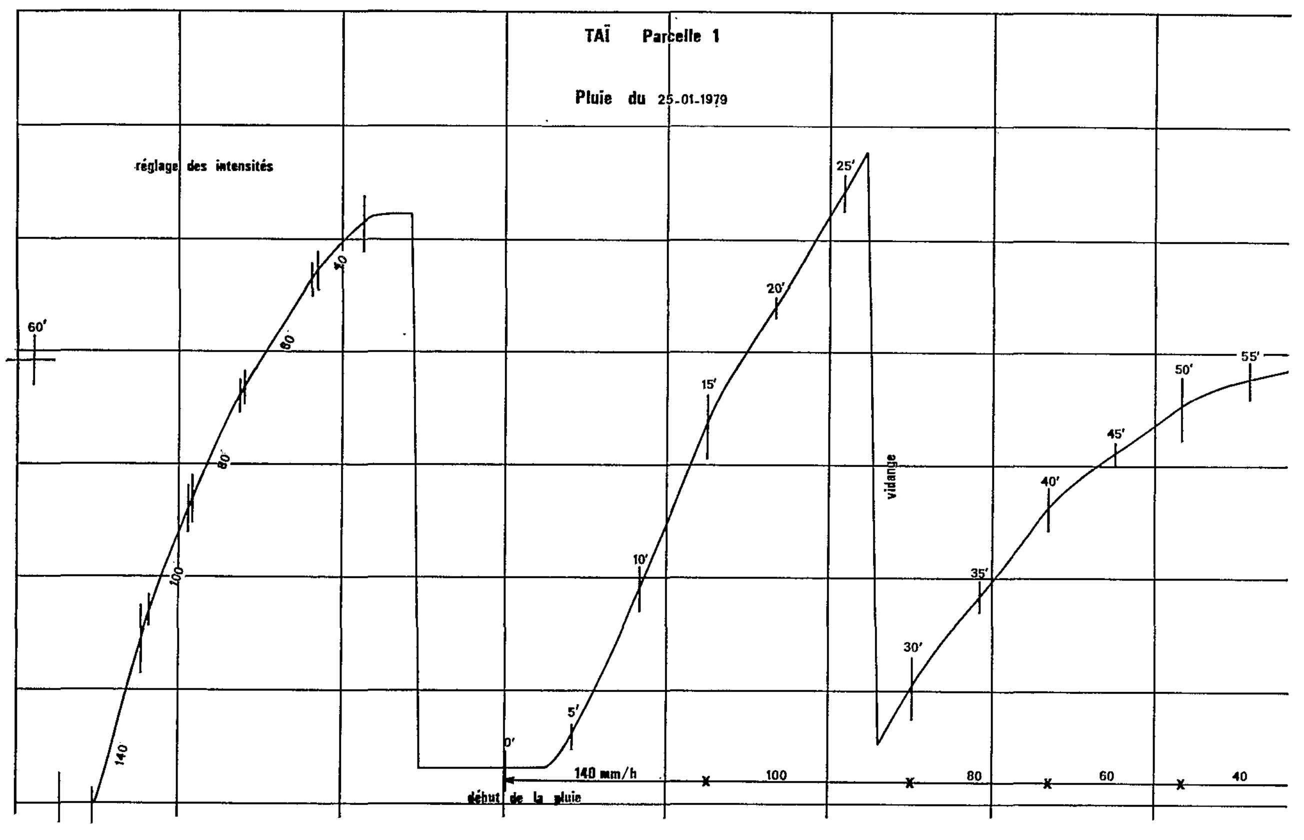


Fig. 5

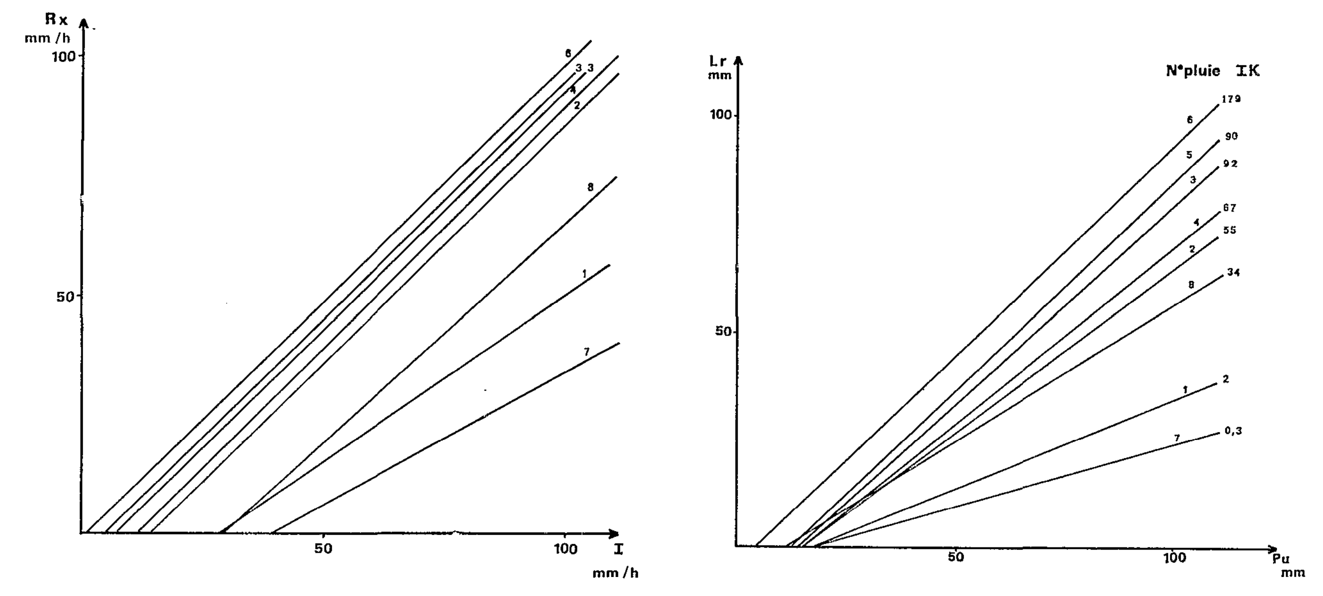


Fig. 6. — Bassin de Taï, parcelle 1

cette courbe les valeurs de la lame ruisselée correspondant à différentes valeurs de la pluie utile (en pratique on dépouille les valeurs de Lr toutes les 5 minutes) ainsi que les valeurs des intensités maximales de ruissellement correspondant aux cinq intensités de pluie. A partir de ces données, on peut tracer les droites Lr (Pu) et Rx (I) relatives à cette averse pour laquelle l'état d'humectation du sol avant la pluie correspond à un indice IK de 34.

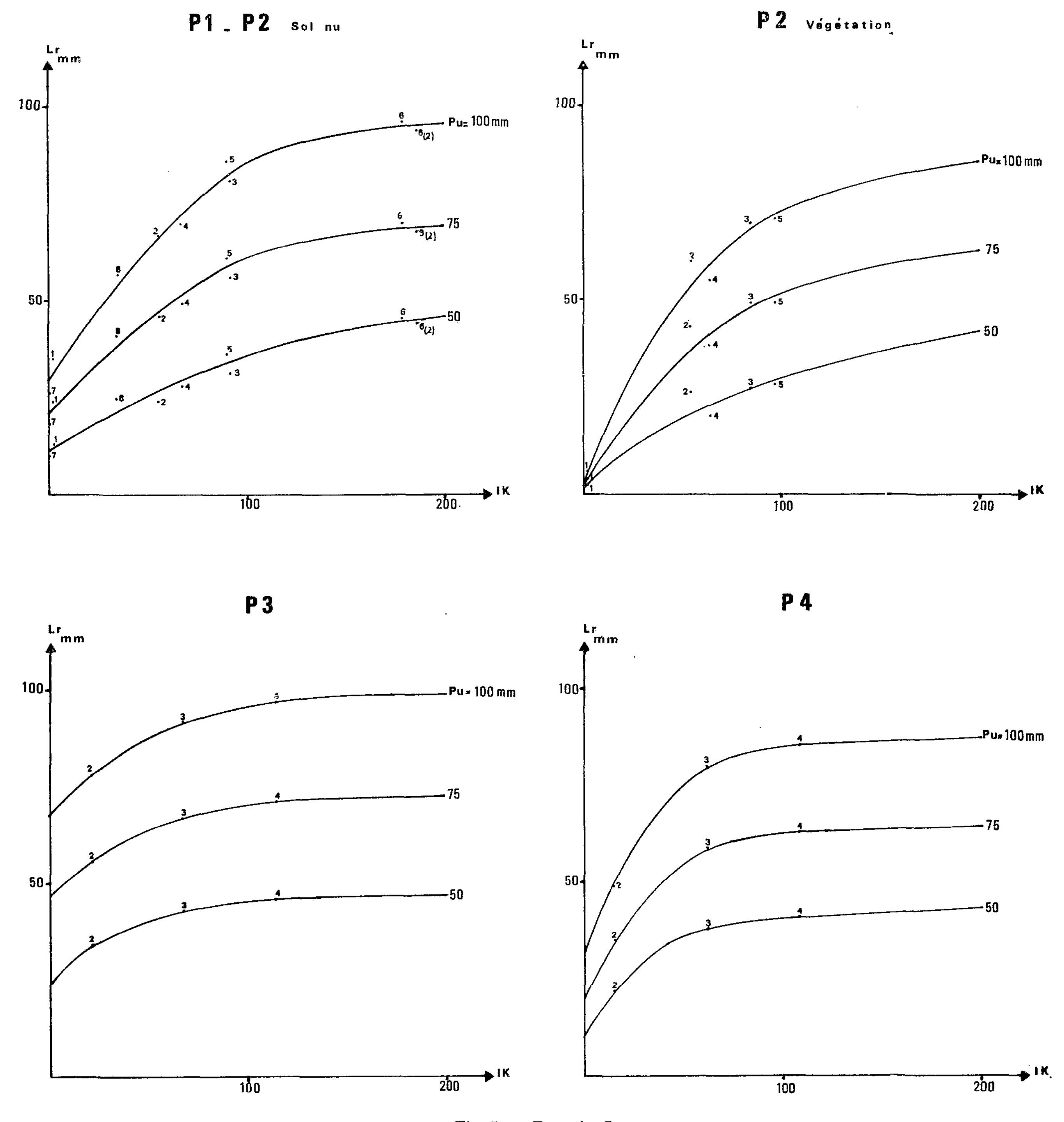


Fig. 7. — Taï : site I

8.2. Relations lame ruisselée - pluie utile - humidité du sol

Le report des valeurs relatives à toutes les pluies d'une même parcelle permet de tracer un faisceau de droites Lr (Pu) et Rx (I), chacune des droites correspondant à une valeur de IK différente (fig. 6). Du faisceau des droites Lr (Pu) on extrait les valeurs de la lame ruisselée pour un certain nombre de valeurs de Pu (en pratique nous avons utilisé dans les différents rapports sur l'étude des crues décennales les valeurs de Lr pour Pu = 100, 75 et 50 mm) et ceci pour les différentes valeurs de IK correspondant à chacune des pluies. Ces valeurs de Lr (100), Lr (75) et Lr (50) sont reportées en fonction de l'indice d'humidité correspondant. On obtient ainsi, pour chaque parcelle, les courbes représentatives des variations de la lame ruisselée en fonction de l'état d'humectation du sol pour un certain nombre de valeurs de la pluie utile (fig. 7). On procède de manière similaire pour tracer les courbes Rx (I, IK). Ce sont ces courbes qui serviront de base à toute l'interprétation.

8.3. Influence de l'hétérogénéité du sol sur le ruissellement

Les droites Lr (Pu) correspondant aux pluies B (ou aux pluies A du second protocole) permettent de tracer, pour chaque parcelle, les courbes Lr (Pu, IK) sur sol nu. La comparaison de ces courbes entre elles permet de déterminer le rôle de l'hétérogénéité du sol. Pour chacune des parcelles, des courbes Lr (Pu, IK) on extrait les valeurs de la lame ruisselée pour un certain nombre de valeurs de IK et ceci pour Pu = 100, 75 et 50 mm. On corrèle ensuite ces valeurs entre elles afin de tracer les courbes représentatives de l'influence de l'hétérogénéité du sol sur le ruissellement (fig. 8).

8.4. Influence de la couverture végétale

La même méthode est utilisée pour mettre en évidence l'influence de la végétation. La série des pluies A sur la parcelle dénudée et sur la parcelle avec végétation permet de tracer les courbes Lr (Pu, IK) valables sur sol nu et sous végétation. Après correction éventuelle de l'effet de l'hétérogénéité du sol entre ces deux parcelles, on peut corréler les valeurs de Lr correspondant à un certain nombre de valeurs de IK, pour Pu = 100, 75 et 50 mm, extraites des courbes Lr (Pu, IK). On obtient ainsi une série de courbes traduisant l'influence de la couverture végétale sur le ruissellement (fig. 8).

8.5. Courbes représentatives d'un site

Les courbes représentatives du site, et donc du type de sol testé, sont tracées à partir des médianes des valeurs de Lr extraites des courbes Lr (Pu, IK) sur sol nu des quatre parcelles du site. Ces courbes représentatives du site sur sol nu, affectées de l'influence de la végétation, permettent de tracer les courbes représentatives du site sous végétation (fig. 9).

Tout ce qui vient d'être dit à propos de lames ruisselées s'applique aux intensités maximales de ruissellement. A partir des courbes Rx (I, IK) des différentes parcelles, on peut mettre en évidence l'influence de la végétation et de l'hétérogénéité du sol sur l'intensité maximale de ruissellement et tracer des courbes Rx (I, IK) représentatives d'un type de sol sous végétation ou sur sol nu.

Une méthode similaire (tracé de courbes Lr (Pu, IK) et Rx (I, IK) de chaque parcelle) a été utilisée en zone sahélienne (OURSI) pour caractériser non plus un type de sol mais un état de surface.

8.6. Autres facteurs étudiés

Les pluies simulées permettent, en plus des variations de la lame ruisselée et de l'intensité maximale de ruissellement, l'étude d'un certain nombre d'autres facteurs caractéristiques des réactions d'un sol (ou d'un état de surface) à une précipitation.

8.6.1. *Pluie d'imbibition*

La hauteur de la pluie d'imbibition (pluie tombant avant le déclenchement du ruissellement) est mesurée à chacune des pluies simulées et ceci sur sol nu ou sous végétation. A partir de ces valeurs, il est possible de tracer les courbes de variation de la pluie d'imbibition en fonction de l'état d'humectation du sol (fig. 10).

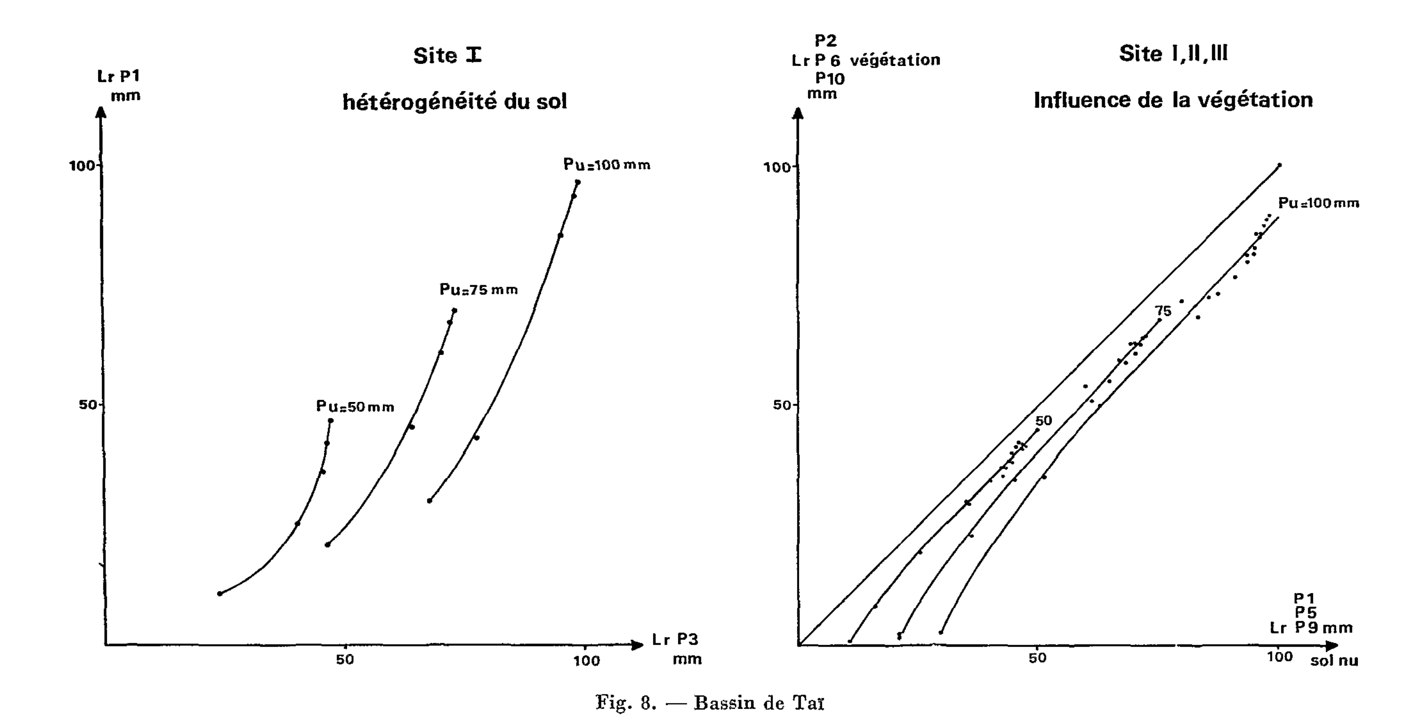


Fig. 8. — Bassin de Taï

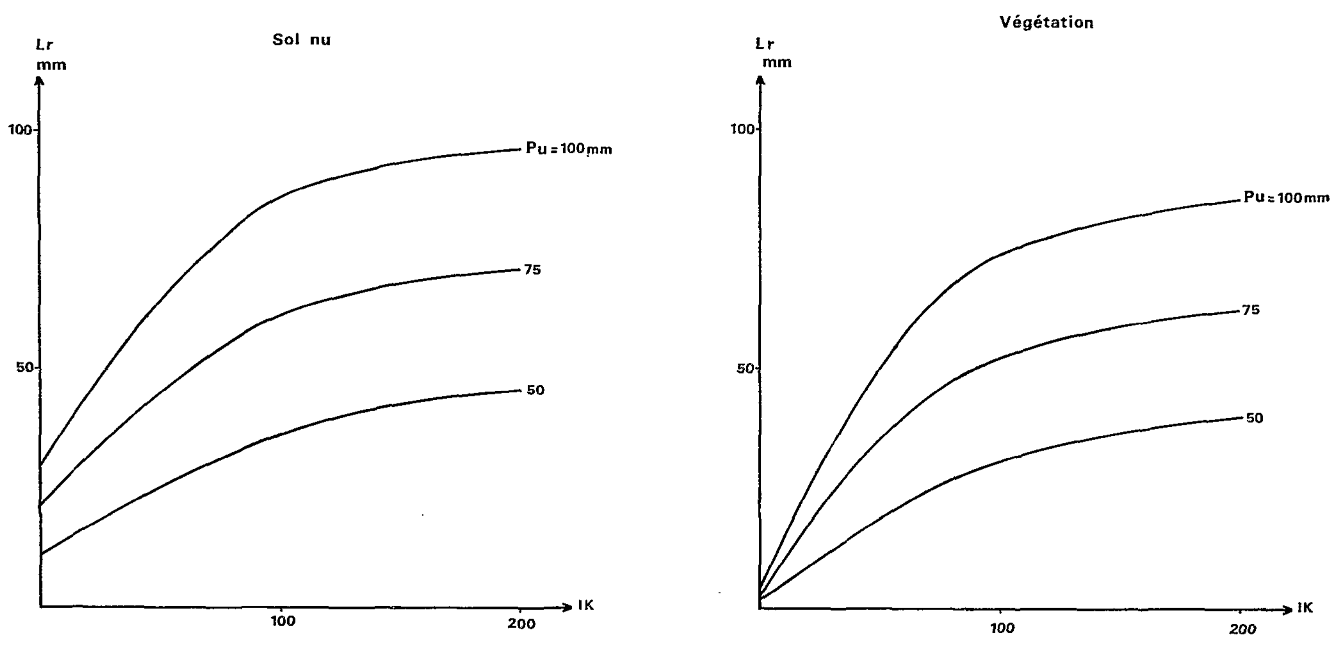


Fig. 9. — Taï : site I

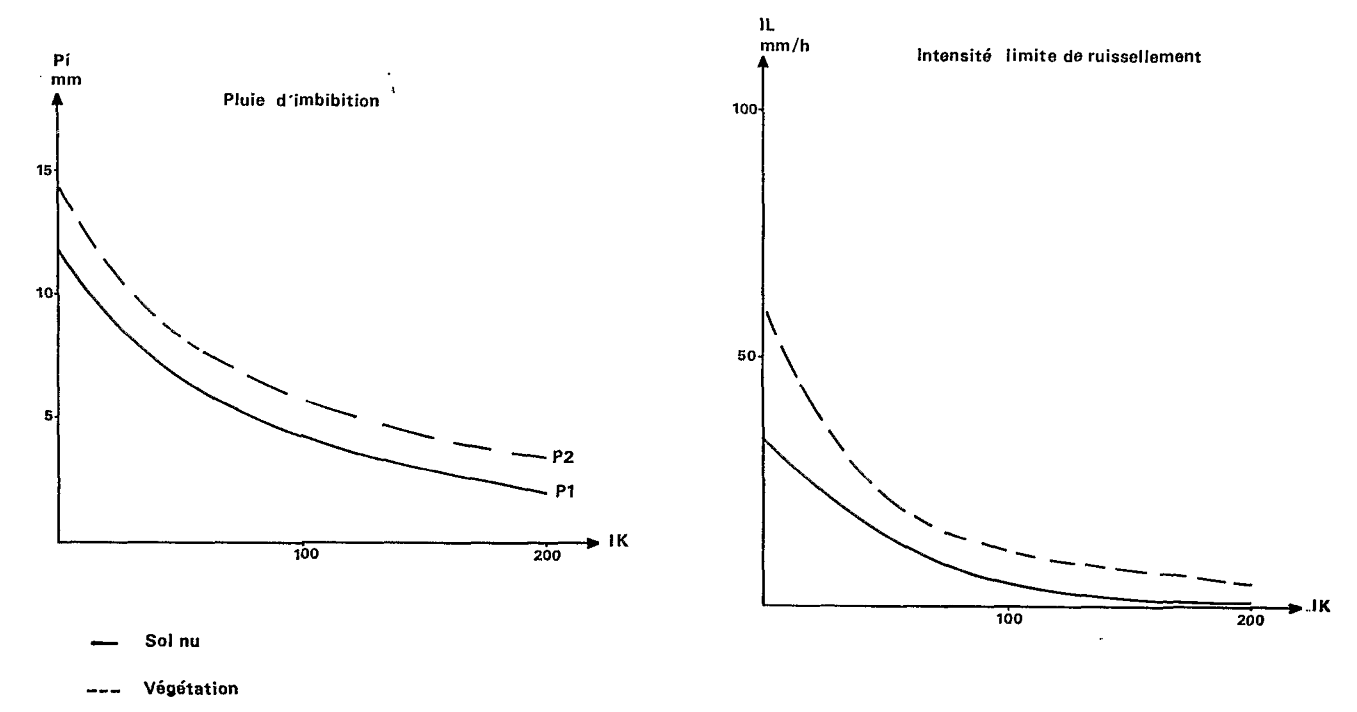


Fig. 10. — Bassin de Taï : site I

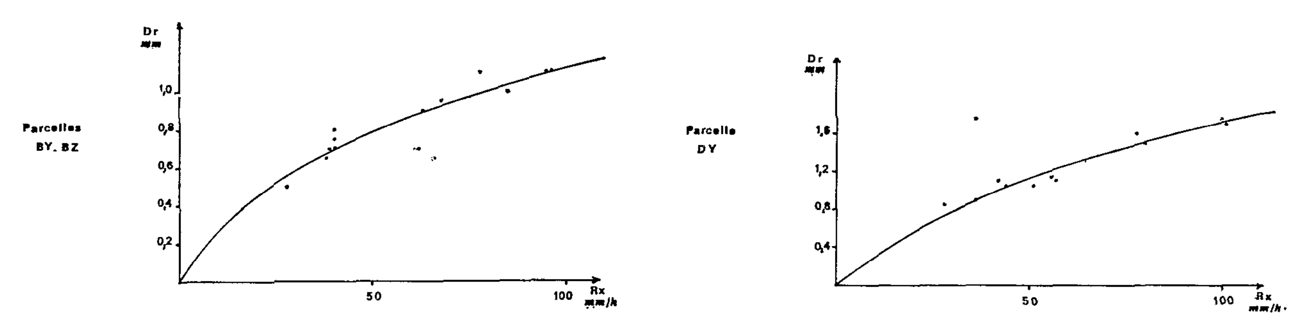


Fig. 11. — Relation entre la détention superficielle récupérable et l'intensité maximale de ruissellement

8.6.2. *Intensité limite de ruissellement*

Rappelons que l'intensité limite de ruissellement, Il, est définie comme étant l'abscisse à l'origine des droites Rx (I). On peut tracer pour chacune des parcelles une courbe de variation de Il en fonction de IK. Il est également possible de tracer les relations représentatives d'un site et donc du type de sol à partir des courbes Rx (I, IK) du site. De ces courbes on extrait les valeurs de Rx correspondant à trois intensités de pluie (50, 75 et 100 mm/h) et ceci pour un certain nombre de valeurs de IK. Pour chacune de ces valeurs de IK, on trace la droite Rx (I), dont l'abscisse à l'origine est la valeur de Il correspondant à cette valeur de IK. On reporte ensuite toute ces valeurs de Il en fonction de IK pour tracer les courbes Il (IK) caractéristiques du site (fig. 10).

8.6.3. *Détention superficielle*

A la fin de la pluie, le ruissellement ne cesse pas immédiatement mais décroît progressivement jusqu'à s'annuler. La quantité d'eau correspondant à ce ruissellement postérieur à la pluie constitue ce que Lafforgue [12] a appelé la détention superficielle récupérable. Les mesures avec le grand simulateur avaient montré qu'il existe une relation

de proportionnalité entre cette détention superficielle et l'intensité maximale de ruissellement à l'arrêt de la pluie. Cette relation, confirmée par les mesures que nous avons faites, peut s'exprimer par l'équation :

$$Dr = Td \cdot Rx$$

Td est un coefficient caractéristique de la parcelle, qui a la dimension d'un temps, raison pour laquelle Lafforgue le désigne par « temps de détention de la parcelle ». Un exemple de ces relations Dr (Rx), extrait de l'étude d'Oursi, est donné à la figure **11**.

IX. CONCLUSION : UTILISATION DU MINI SIMULATEUR

Cinq années d'utilisation intensive du mini simulateur nous permettent d'affirmer que ce dispositif peu onéreux, léger et maniable, avec lequel il est possible de déterminer, de façon relativement complète et rapide, les caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sol ou d'état de surface, peut être très utile dans un certain nombre d'études hydrologiques. Alors que le grand simulateur nous paraît être avant tout destiné aux études d'érosion, les principales voies de recherche à l'aide du mini simulateur nous semblent être les suivantes, sans qu'il existe de solution de continuité entre ces différentes voies qui forment un tout.

— *Etude des crues décennales des petits bassins*

Cette étude, initialisée en Côte d'Ivoire pour la zone forestière et dont les résultats sont prometteurs, doit être poursuivie et étendue géographiquement afin de vérifier la validité des relations obtenues et leur domaine d'application. Faisant suite à celles de Côte d'Ivoire, des mesures ont été entreprises dans ce sens au Cameroun et devraient débuter en 1983 au Congo. Les études des bassins d'Oursi ou de Binde (Haute Volta) montrent qu'il semble également possible, en zone sahélienne, de reconstituer la crue décennale des petits bassins à partir des mesures au mini simulateur. Toutefois cette reconstitution nécessite à l'heure actuelle un calage à partir de valeurs observées pour déterminer un facteur d'échelle qui semble être fonction, principalement, de la taille du bassin. Nous espérons cependant, lorsque les études seront plus avancées, pouvoir éviter cette phase de calage et passer directement des mesures au mini simulateur au calcul de la crue décennale.

Le but de ce type d'étude est avant tout pratique et doit être de substituer aux mesures classiques sur bassin représentatif des campagnes de simulation, beaucoup plus rapides et nettement moins onéreuses.

— *Etude de la genèse des crues*

La détermination à l'aide du simulateur des caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols doit permettre de mieux comprendre comment se fait la composition des écoulements des différentes zones d'un bassin et par là de mieux cerner le processus de genèse des crues.

— *Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et l'infiltration*

La plupart des cartes pédologiques, basées sur des critères pédogénétiques, ne permettent pas d'apprécier la perméabilité globale d'un bassin et ne sont donc que de peu d'utilité aux hydrologues. Il n'est pas sans intérêt de chercher quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des sols influençant l'infiltration. La prise en compte de ces caractéristiques dans la technique de cartographie mise au point par les pédologues de l'ORSTOM en Guyane (courbes d'iso-différenciation), permettrait d'établir des cartes pédologiques adaptées aux besoins des hydrologues.

— *Etude « au champ » des lois de l'infiltration*

Il existe à l'heure actuelle un grand nombre de formules permettant théoriquement de calculer l'infiltration. Il s'avère en réalité que la majeure partie de ces formules, mises au point en laboratoire, sont inapplicables dans la réalité. Le mini simulateur, qui permet de maîtriser les caractéristiques de la pluie, couplé à des mesures d'humidité des sols (sonde à neutrons, tensiomètre), paraît être un instrument privilégié de l'étude « au champ » des lois théoriques de l'infiltration.

— *Etude des relations entre état de surface des sols et infiltration*

Contrairement à la zone forestière où ce sont les caractéristiques pédologiques qui conditionnent l'infiltration, en zone de savane elle dépend avant tout de l'état de surface des sols. Il serait très intéressant pour les hydrologues de poursuivre en collaboration avec les pédologues l'étude de la caractérisation de ces différents états de surface sur une zone géographique la plus étendue possible.

— *Transposition des modèles mathématiques*

Si les modèles mathématiques développés par l'ORSTOM donnent des résultats très satisfaisants, il se pose cependant le problème de la transposition de ces modèles à des bassins n'ayant fait l'objet d'aucune étude particulière, ces modèles nécessitant un calage à partir des valeurs réellement observées, ce qui suppose souvent plusieurs années d'études de terrain intensives. Une des voies de recherche les plus importantes du simulateur nous paraît être d'essayer de caler ces modèles uniquement à partir des caractéristiques mesurées avec le simulateur ce qui réduirait les mesures de terrain à 1 ou 2 mois et permettrait une utilisation beaucoup plus étendue de ces modèles.

Afin d'illustrer les possibilités de cette nouvelle technique, on trouvera dans les articles suivants de ce cahier deux exemples des résultats obtenus dans le cadre d'études réalisées à l'aide du mini simulateur.

X. BIBLIOGRAPHIE

[1] ASSELINE (J.) – 1981 – Notice technique. Construction d'un infiltromètre à aspersion : ORSTOM Adiopodoumé, 26 p., 30 fig.

[2] ASSELINE (J.), VALENTIN (C.) – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, 15 (4), pp. 321-349.

[3] BERTRAND (R. B.), PARR (J. F.) – 1960 – Dévelopment of a portable sprinkling infiltrometer. *Trans. of 7th Intern. Cong. of Soil Sci., Madison*, VI (4), pp. 433-440.

[4] CASENAVE (A.) – 1981 – Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Rapport final. ORSTOM-CIEH. Abidjan, Multigr. 65 p., 6 fig.

[5] CHEVALLIER (P.) – 1982 – Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute Volta), ORSTOM Adiopodoumé. Ouagadougou.

[6] CHOW (Ven te) – 1964 – Hand book of applied hydrology. Chapter 12.6 « Rainfall simulator », Mac Graw Hill Book Company.

[7] COLLINET (J.), VALENTIN (C.) – 1979 – Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, 17 (4), pp. 283-328.

[8] COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), CHEVALLIER (P.), SICOT (M.) – 1980 – Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la première opération « Mare d'Oursi ». ORSTOM-DGRST, Abidjan, Multigr., 14 p., 15 fig.

[9] COLLINET (J.), VALENTIN (C.) – 1982 – Effects of rain-fall intensity and soil surface heterogeneity on steady infiltration rate. 12 th Intern. Cong. of Soil Sci. New Delhi, (sous presse).

[10] HILLEL (D.) – 1974 – L'eau et le sol. Principe et processus physiques. VANDER (édit.), Leuven, Paris, Bruxelles, 288 p.

[11] LAFFORGUE (A.), NAAH (E.) – 1976 – Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. *Cah. ORSTOM, série hydrol.*, 13 (3), pp. 195-237.

[12] LAFFORGUE (A.) – 1977 – Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. *Cah. ORSTOM, série hydrol.*, 14 (4), pp. 299-344.

[13] POUYAUD (B.), CHEVALLIER (P.), VALENTIN (C.) – 1980 – Notice d'utilisation de l'humidimètre à chocs thermiques. ORSTOM Adiopodoumé, Multigr , 16 p , 6 fig

[14] TOEBES (C.), OURYVAEV (V.) – 1970 – Les bassins représentatifs et expérimentaux. Guide international des pratiques en matière de recherche. Chap. 4-5-1. « Infiltromètres ». *Public. UNESCO-AISH*, pp. 161-170.

[15] VALENTIN (C.) – Problèmes méthodologiques de la simulation de pluie. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. In : *Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen.* VOGT. H. et VOGT. T. (édit.), pp. 117-122.

[16] VALENTIN (C.). – 1981 – Esquisse au 1/25.000 des différenciations morpho-structurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien (Polaka - Oursi, Nord Haute-Volta). ORSTOM Adiopodoumé, Multigr. 12 p., 1 fig.

[17] VALENTIN (C.) – 1981 – Organisation pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez - République du Niger). Thèse 3e cycle, Université de Paris VII, 229 p., 43 fig.